

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)  
平成26年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学  
研究開発プログラム」

研究開発プロジェクト  
「環境政策に対する衛星観測の  
効果の定量的・客観的評価手法の検討」

研究代表者 笠井 康子  
(情報通信研究機構 主任研究員)

## 目次

1. 研究開発プロジェクト名 .....	2
2. 研究開発実施の要約 .....	2
3. 研究開発実施の具体的内容 .....	2
3 - 1. 研究開発目標 .....	2
3 - 2. 実施方法・実施内容 .....	3
3 - 3. 研究開発結果・成果 .....	6
3 - 4. 会議等の活動 .....	15
4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況 .....	15
5. 研究開発実施体制 .....	15
6. 研究開発実施者 .....	17
7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など .....	18
7 - 1. ワークショップ等 .....	18
7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など .....	18
7 - 3. 論文発表 .....	18
7 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） .....	20
7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等 .....	20
7 - 6. 特許出願 .....	20

## 1. 研究開発プロジェクト名

「環境政策に対する衛星観測の効果の定量的・客観的評価手法の検討」

## 2. 研究開発実施の要約

「政策のための衛星観測イノベーションサイクル」はFuture Earth実現のロードマップの中でひとつの鍵となり得る重要な課題である。これまで衛星観測の効果に対して定性的な意見等は存在するものの、定量的評価は存在しない。それは「衛星観測技術」と「政策」というまったく離れた領域を対象としており、その評価の実施は多岐にわたる学際性をもって初めて成り立つということに起因する。研究分野が存在しないほぼ完全な新規開拓研究であり、定量的評価の実現は不可能だと思われてきた。しかし、本プロジェクトでは「衛星観測の効果の定量的な評価手法を新しく開拓すること」を目指す。これにより、「政策のための衛星観測イノベーションサイクル」を駆動させるドライビングフォースとなり、真に政策のための衛星観測提案を実施すること、すなわちイノベーションサイクルを回し政策のための衛星の実現への道筋を世界で初めて示すことを目指している。

2014年は、「モントリオール議定書」を集中的に取り上げた。その理由は、この議定書によるフロン規制が実際に効果を発揮し、オゾン層が回復しつつあることが衛星観測も含めた地球観測的に明確になりつつあること、「オゾンホール」といった分かりやすい衛星観測例があることからである。政策グループ（青木グループ）は宇宙政策、環境政策において「モントリオール議定書締結までの道筋と改訂における詳細の調査」を実施した。政策のための衛星観測評価グループ（小野田グループ）は「モントリオール議定書において衛星観測→政策、政策→衛星観測の「Death Valley」をつなげた道筋の明示化」を実施した。マイニンググループ（相澤グループ）はデータベース構築の環境を作成し、政策と衛星観測といった関連のない二つの事象を結びつけるためのデータベース作りとマイニング開発を実施した。笠井グループは政策のための衛星検討を行うとともに、全体のまとめを行った。また、マイニングアルゴリズムの検討を開始した。

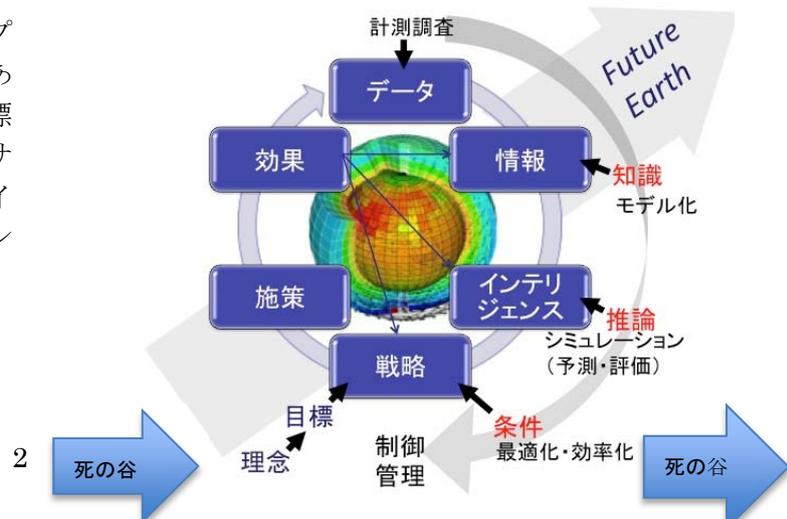
平成26年度のこれらの個々の試みを結合し、平成27年度にはいよいよ実際の定量化に乗り出す予定である。

## 3. 研究開発実施の具体的内容

### 3 - 1. 研究開発目標

「政策のための衛星観測イノベーションサイクル」はFuture Earth実現のロードマップの中でひとつの鍵となり得る重要な課題である。本プロジェクトの先にある最終的な目標は「政策のための衛星観測イノベーションサイクルが回る」社会を作ることである。サイクル駆動を実現するためにはイノベーションサイクルを断絶させている「Death Valley」

図1 : φOIC Policy and Earth Observation Innovation cycle



要因である「政策に対する衛星観測の効果の評価→衛星観測へのフィードバック」部分を連結しなければならない(図1)。しかし、これまで衛星観測の効果に対して定性的な意見等は存在するものの、定量的評価は存在しない。それは、この評価が、多岐にわたる学際性を持ち、衛星観測技術及び政策という融合的研究領域性から成り立つということに起因する。研究分野が存在しないほぼ完全な新規開拓研究であり、定量的評価の実現は不可能だと思われてきた。しかし、本プロジェクトでは「衛星観測の効果の定量的な評価手法を新しく開拓すること」を目指す。これが実現すれば、「政策のための衛星観測イノベーションサイクル」を駆動させるドライビングフォースとなり、真に政策のための衛星観測提案を実施すること、すなわちイノベーションサイクルを回し政策のための衛星の実現への道筋を世界で初めて示すことができる。

### 3 - 2. 実施方法・実施内容

このような不可能と思われてきた課題「衛星観測の効果の定量的な評価手法を新しく開拓すること」をどう解決するのか。完全なる文理融合の研究戦略と体制で「Death Valley」を乗り越えることが重要である。以下のように研究をPhase-I, IIに分類した。H26年度においてはPhase-I研究を実施した。

#### ■Phase-I: 衛星オゾン層破壊観測がモントリオール議定書締結と改善に及ぼした影響の定量的評価

地球環境施策に対する衛星観測の効果の評価は地球温暖化問題で試みられているが、定量的評価は様々なファクターが非線形にからむためにその道筋をつけるのが非常に困難である。我々はH25年度の検討の結果、過去の政策ではあるが科学観測が施策締結に対して成功した事例として「モントリオール議定書」に注目した。科学的な指摘から問題が社会化し、議定書の早期締結が実現され、衛星画像が定性的には一定の効果を及ぼしたと思われる。また、その改訂のプロセスにも衛星観測が影響を及ぼしている可能性がある。定性的に効果が認められている成功した施策に対して「定量化」を実施することをPhase-Iとする。

#### 定量化の手段は以下の通り

1) 政策と衛星観測の効果の定量的・客観的評価手法論

1)-1モントリオール議定書において衛星観測→政策、政策→衛星観測の「Death Valley」をつなげた道筋の明示化(小野田)

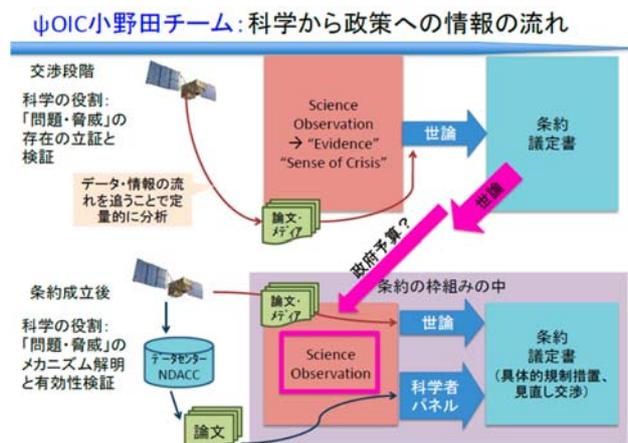
図2に概念図を示す。

図2

#### a. 先行研究の調査・収集と分析

文献・資料分析により、衛星データ/科学技術情報の政策に対する寄与度合いを明らかにする手法を検討する目的とし、以下の各分野における先行研究を調査・収集し、本研究への適用可能性を分析する。

- ① 法的手法(国際コントロール等)
- ② 制度論的手法(管理主義、遵守論等)
- ③ 社会学的手法(ディスコース論等)



④経済学的手法（費用対効果分析等）

⑤ほか宇宙／RS政策・技術全般

b. オゾン層保護の例の予備検討（前年度より継続）

モントリオール議定書において衛星観測→政策、政策→衛星観測の「Death Valley」をつなげた道筋の明示化。

1)-2政策と衛星観測を関連づけるためのビックデータベース作成とトレースのマイニング開発（相澤・笠井）

選出した環境政策各レベルの文書からデータベースを作成し、政策→戦略→インテリジェンス→情報の3つのプロセスにおいて相関がとれるキーワードを設定し、来年度のアルゴリズム開発につなげる。

1)-3モントリオール議定書締結までの道筋と改訂における詳細の調査（青木）

オゾン層保護条約およびモントリオール議定書交渉関連の文書から調査検討を行う。最も大変な部分は文書の入手と保存である。これらは電子化されていないものもあり入手が困難な場合もある。電子化される前の書類は、あるとすればUNEPのナイロビ本部（オゾン層保護担当部局）であり、これは問い合わせでも閲覧できるとは限らない。確実な方法は日本政府ナイロビ大使館を通じて、関連資料の閲覧を要望することである。ナイロビ大使館には環境担当の書記官が駐在している。これはビックデータデータベースの源泉となるものである。

Phase-II： 平行して、現在施策が立てられようとしている「大気汚染と健康」「北極海」などに対して従来の衛星観測の効果を定量的に評価を実施する。これは最終年度に真に施策のためとなる地球観測衛星の提案を目指すための準備である。

2) 研究開発の主なスケジュールは以下の通りである。

項目	平成25年度 (6ヶ月)	平成26年度	平成27年度	平成28年度 (6ヶ月)
<b>Death Valley問題に対する検討(全員)</b>				
従来の手法で不成功の理由	←→			
「衛星観測の効果の定量的な評価手法の開拓」をどう実現するか	←→	↑		
<b>Phase-I衛星オゾン層破壊観測がモントリオール議定書締結と改善に及ぼした影響の定量的評価</b>				
モントリオール議定書において衛星観測→政策、政策→衛星観測の「Death Valley」をつなげた道筋の明示化(小野田)			←→	
政策と衛星観測を関連づけるためのビックデータベース作成とトレースマイニング開発(相澤・笠井)		←	←→	
モントリオール議定書締結までの道筋と改訂における詳細の調査(青木)		←	←→	
<b>Phase-II: 現在施策が立てられようとしている「大気汚染と健康」「北極海」などに対して従来の衛星観測の効果を定量的に評価した、真に施策のためとなる地球観測衛星の提案へ(全員)</b>				
Phase-I研究の応用			←→	→
<b>政策ニーズに対して「政策のための衛星観測」のフィージビリティ検討(笠井)</b>				
「大気汚染と健康」	←			→
「北極海」	←			→
まとめ				←→

### 3 - 3. 研究開発結果・成果

#### 青木グループ

##### 1 背景 (計画の内容)

平成26年度計画書の担当部分内容は以下のとおりである。

##### 1) モントリオール議定書締結までの道筋と締結後における詳細の調査

衛星オゾン層破壊観測がオゾン層保護のためのウィーン条約とモントリオール議定書締結とその改訂に及ぼした影響の評価を行った。検討の対象として、「科学的な指摘」から問題が社会化し、法的拘束力をもつ国際文書として科学観測が施策締結に対して成功した事例として「モントリオール議定書」に注目した。「科学的な指摘」のなかで衛星画像によるオゾン層破壊問題の呈示が有意な定性的効果を及ぼしたのではないかと推測されたからである。また、モントリオール議定書の数次にわたる改訂（改正と調整）にも衛星観測の成果が影響を及ぼしていると推定された。そこで、モントリオール議定書につながる政策文書としてのウィーン条約の起草過程の調査、モントリオール議定書の起草過程の調査、および改正・調整とその年代に利用されていた衛星画像の調査を行った。

##### 2) 事例研究 「衛星画像から政策へ」および「政策から衛星画像へ」という双方向の関係性検討を補強するための事例研究の第1段階

同時に、平成25年度からの考察を踏まえ、衛星画像から政策への影響とともに、政策決定に基づく衛星センサー開発という影響・効果もあるのではないかと推測した。そして、政策決定文書の交渉から制度構築へと到る過程と衛星画像普及の過程を並行して調査することにより、政策から衛星開発への関係性を明らかにしようと試みた。対象としては、特に最近多国間の制度形成が、航路、環境保護、資源開発などを中心に進みつつあり、日本も積極的なアクターとして関与しつつある北極制度と衛星画像の関係を中心に取上げた。これを事例研究の第1段階とし、平成26年度はその中間部分までを進め、平成27年度により焦点を絞った事例研究を完成させる契機とする。

以下、上記2つの項目についての研究結果を2-3に、それぞれ記述する。

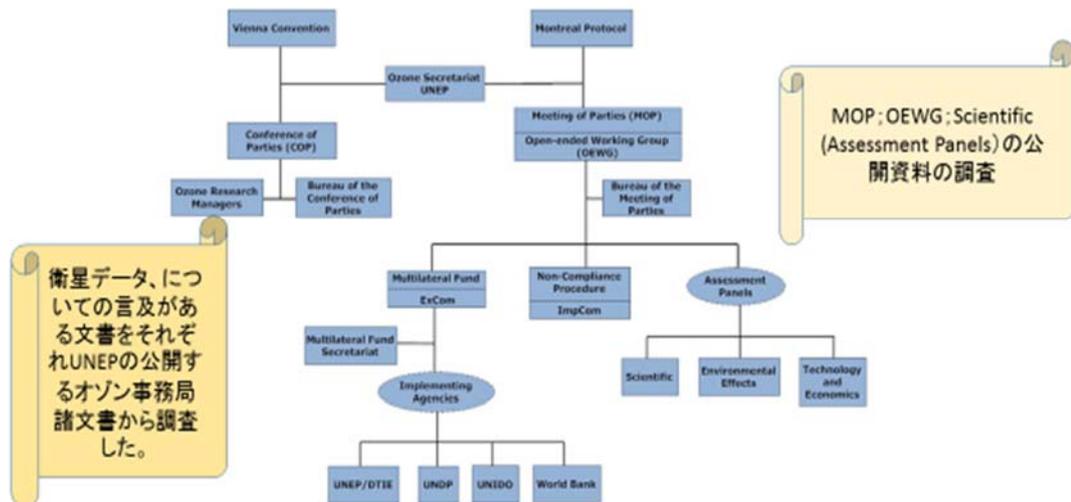
##### 2 モントリオール議定書締結までの道筋と締結後における詳細の調査の方法と結果

##### 1) 方法

オゾン層の保護についての政策文書の基本はUNEP(国連環境計画)において1985年に採択された「オゾン層の保護のためのウィーン条約」(1988年発効)と同条約に基づく具体的義務を明記した1987年の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」(1989年効力発生)である。条約・議定書締結後は、ウィーン条約締約国会議(COP)、モントリオール議定書締約国会合(MOP)でさらに具体的に目標達成に向けての措置や手段をとる方法を模索し、各国が条約を遵守しているのか、守られていない場合にはどのように対処するのが条約の目標にかなうのか、などを検討し、条約の履行確保に向けて努力している。そこで、ウィーン条約とモントリオール議定書が作成される過程を詳細に追い、その中で衛星画像による証拠というものがどの程度起草過程に影響を与えたかを調査した。

具体的には、国連環境計画（UNEP）のオゾン事務局に所在するウィーン条約COP、 モントリオール議定書MOP関連の全公開文書を調査した。平成26年度は、モントリオール議定書採択後の議定書の改正や調整の過程に衛星データがどのように影響を与えたかをCOP、MOP、UNEPに置かれたオゾン研究管理者（Ozone Research Managers）会合などの内部検討文書、オゾン事務局のさまざまなワークショップの記録などから調査した。議定書の改正、調整は1987年以降2007年までに合計9回行われており、現在は次回の改正のための検討中である。調査により最も有用なのは、オゾン研究管理者（ORM）会合の文書であった。これは世界気象機関(WMO)の調査結果との連動もあるので、あわせてWMOの文書も調べた。以下にオゾン事務局の文書構造を示す。

## 調査のために用いた公開資料



(図3 オゾン事務局の公開資料)

### 2) 調査結果

①その結果、1974年のクロロフルオロカーボン（CFC）がオゾンを破壊し生態系に変動をもたらすという科学的知見の発表と、続く、1978年11月以降のオゾン層観測に適したTOMSセンサーの利用開始が国連UNEPでの議論の活性化やオゾン層破壊物質を含む米国のフロンガスの使用禁止法米国内法制定につながる経過が見て取れた。（資料A1「オゾン層保護のためのウィーン条約起草過程」）

②また、モントリオール議定書採択以降の制度構築にも衛星画像の利用が有益である点は定性的には認められる。定量的にどの程度衛星画像が貢献したかを結論づけることは、平成26年度時点においてはできなかったが、2014年5月に開催されたORMの報告書がオゾン層保護のための地上観測と宇宙からの観測（space-based measurements of ozone）がオゾン

層の回復のために有用な道具として成功しつつあると断言している。ORMの国別報告書とORMの全体結論からは以下の点が指摘できる。

i) 衛星データの不足する地域では、地上からの観測を促すプロジェクト（たとえば Dobson and Brewer instrumentsによる観測）を進めることにより衛星画像を補い観測を進展させている。地上観測も進展しているが、広範な地域の季節毎の変化をみるためには衛星データが重要である。そこで、アジアにおけるモンゴルやアフリカ諸国等地上観測設備が未整備の国においては、衛星画像提供がいつそう望まれる。

ii) 衛星データベースとそのシミュレーションおよび地上観測との組み合わせによりオゾン観測結果のより正確な状況を呈示できる。衛星データと地上からのデータの組み合わせ評価により、今後のモントリオール議定書改正への物質特定が可能となる。

iii) オゾン観測で衛星センサーを提供する代表的な国は、ベルギー、フィンランド、フランス、ドイツ、オランダ、米国（圧倒的に多種多量の提供国）であり、利用国として報告書を提出するのは50カ国以上に及ぶ。（資料A2「オゾン研究管理者（ORM）会合国別レポート2002-2014」）

③国連気候変動枠組条約（UNFCCC）に基づいて設置された、科学的・技術的な事項についての情報や助言を提供することを目的とした補助機関（Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice 略：SBSTA）は、実施に関する補助機関（SBI）とともに、毎年開催される気候変動枠組条約の締約国会議の主要案件を事前に協議する政府間国際組織である。UNFCCCの規定は、「『温室効果ガス』（モントリオール議定書によって規制されているものを除く。）」という用語使用が多いことからわかるように、オゾン層破壊物質も温室効果ガスの一種であることから、UNFCCCのSBSTAで衛星が使われているか否かを調べるのが有意義であると考えられる。そこで、SBSTAの年次レポート、国別レポートでの「衛星」「科学データ」に言及した部分はすべて抽出した。その結果、衛星画像が制度構築に有益であった具体的な場面が明らかになった。（資料A3「SBSTA国別報告書「衛星」「科学データ」利用調査」）平成27年度には、具体的に政策決定に有益であった実例をいかに定性的な判断から定量的な評価につなげるかORMの研究とSBSTAの比較やインタビューを行う予定である。

### 3 衛星画像から政策へ 政策から衛星画像へという双方向の関係性を補強するための事例研究第1段階 の結果

1) 1で記述したように北極海を主要事例として、政策の現況、進展状況を調べた。（資料A4「北極と南極の安全保障環境：宇宙からの観測の前提として」；資料A5「船舶起因汚染に関する国際法と国内法の交錯」）平成27年度に平成26年度に集めた資料を分析して、衛星データと極地の政策進展の相関を探る。

2) 衛星データを用いるときには、データは改竄が可能であるため、証拠性が問題となる。衛星データを証拠の1つとして用いるためにどのような証拠性の条件の整備が必要であるか、と言う観点からの研究であり、最近、国際宇宙法のなかでも注目される分野となっている。法的な判定条件は、政策決定におけるものよりも厳密な基準が要求されるので、法的な条件（データは間接証拠か、直接証拠たりうるか等）を詰めることは有用であ

ると考えた。そこで、大気汚染、保健衛生、北極圏などのさまざまな問題について衛星データ・情報を用いる場合、どのようなデータの条件が具備されれば証拠力が高まるのかを検討した。オゾン層保護ウィーン条約・モントリオール議定書（諸改訂）など国際的な枠組に必要な証拠性、北極海のイルリサット条約（遭難救助）（北極評議会当事国間）、南極条約環境議定書、PM2.5の状況監視などの地域的なもの、また、オゾン層保護法など国内法の施行に役立つものなどが対象である。

結果として、衛星データの問題として、生データではなく、処理済みデータ以上のものが証拠力をもつので、伝聞証拠、状況証拠という形をとらざるを得ない場合が多いと思われることがわかった。そのために、専門家証言とデータの真正性を保障するガイドラインが必要と考えられる。(i)正確性、(ii)管理の継続、(iii)使用アプリケーションの問題などデータが本物であるという証拠を示すためのガイドラインについては、平成27年度に継続して調査する考えでいる。（資料A6「衛星データ・情報の証拠力について」）

3) 事例研究として平成27年度に進めるものとしてその他、遠隔医療や国際宇宙ステーションでの国際協力が衛星画像提供の国際枠組づくりに役立つ可能性があると考え、補助的に当該研究に着手した。これは平成27年度には最終的な衛星データ利用と政策のフィードバック関係を加速するための国際制度づくり案として提言するところまで進めることを予定している。（資料A7「Telemedicine and International Law: Space Law as a Linchpin」；資料8「Analysi of the Legal Instrtmnts Operating the ISS as the Most Complex Space Program ever Undertaken」）

## 小野田グループ

### (1) 先行研究調査

- 衛星観測に関する国際調整の専門性がある Symbolis 社に先行研究調査を依頼、毎月の報告書と最終報告書が提出された。
  - Symbolis 社は、衛星観測が直接的に政策関連文書に影響を与えた例を調査、特に欧州や米国における衛星地球観測による政策への影響を明らかにすることを目指した。しかし、衛星が政策において明示的に参照されている事例はまれであった。学术论文は、衛星地球観測の社会的・経済的な利点に目を向ける傾向がある。
  - 欧州と米国におけるミッションの選択および開発のプロセスを調査し、そのプロセスがニーズによって主導されていることを明らかにした。
  - さらに、本プロジェクトで採用された方法論と類似性が見られる Macauley (2009) による研究事例を見出した。
  - また、主要な宇宙機関のシニア管理職からも聴取を実施した。しかし、彼らは環境政策に基づきプログラムの実績を評価する方法論を認識していない（あるいはその共有を望まない）ように思われた。
- 欧州及び米国で関連分野を研究している機関を訪問し、研究に関する打合せを行った。訪問先は、以下のとおり。

欧州：IIASA(オーストリア)、国連宇宙部（オーストリア）、WHO(スイス)

米国：カリフォルニア大学サンタバーバラ校

- 文献調査から、法的手法、制度論的手法、社会学的手法、経済学的手法、その他宇宙及びリモートセンシング政策・プロジェクト全般の各アプローチに基づく先行研究を調査・分析した。

## (2) 分析・検討結果

- 米国・欧州・科学と政策一般を中心に、衛星データ又は科学技術情報の政策又は社会への寄与や便益を明らかにすることを目的とした先行研究・事例の文献調査を行った。
- 米国政府の地球観測衛星ミッションは、科学的な要件・要求に基づいて設計されている。
- 欧州の GMES は、([オペレーショナルな] 社会的便益を創出することを目指し、) エンドユーザーのニーズに基づいて設計。
- 政策文書において、明示的に衛星が参照されている例を確認することは困難であることが判明。
- 先行事例では、衛星地球観測が具体的な政策にいかに関与を及ぼすかというよりも、それがもたらす社会経済的な便益に焦点を当てる傾向があった。
- Macauley (2009) の方法論が、今回の先行研究調査において確認できた類似手法による検討の唯一の例だった。(査読論文のデータベースからキーワード検索により、Landsat 衛星利用の傾向を抽出)
- 先行研究調査及びオゾンの事例を用いた初期的分析の実施により、文書解析データを用いて定量的に衛星データの影響を見るという手法は、部分的には可能であるが、以下の制約があることが明らかになった。
  - 解析の対象となりうる関連文書のサンプル数が豊富ではない
  - 衛星データと科学との相関を分析することは可能であったとしても、科学と政策との関係を分析するのは、関係する要因が多いうえ定量化の難しい相当に複雑な作業である。
- したがって、本研究で実施可能な手法を検討した結果、以下のとおり。
  - ① 制度論として政策をとらえた場合、これを合意(条約)形成、実施・遵守、有効性検証のフェーズに分けた時にそれぞれのフェーズにおける衛星データの役割を明確化し、関連文書を抽出し、相関を分析することは可能。(26年度には、これをオゾン及び部分的に UNFCCC の例で試行した。)
  - ② 衛星データが既に利用されている特定のケース(森林観測等)において、データ量の観点から、政策的な目的でどれほど利用されているかという定量化は可能。
  - ③ ある特定衛星機器、又は観測が、査読科学論文にどれだけ出現するか、あるいは新聞等マスメディアにどれだけ出現するかという観点で分析することは可能。
- 初期的な効果分析の実施：上記検討に基づき、さらにオゾン(モントリオール議定書)、気候変動(UNFCCC)におけるケーススタディの手法論を検討、他グループと共同して大きく以下の2つを実施した。(詳細は各グループ報告を参照)

- 手法①により、モントリオール議定書採択後の議定書の改正等における衛星データの影響及びUNFCCCの経年的な政策進展における衛星データの影響の分析を青木グループが実施。
- 手法②及び③の初期的検討として、森林の事例をIGESにて検討。
- 手法③により、地球観測衛星委員会（CEOS）のデータベースを用い、過去、現在、将来のオゾン観測ミッションのタイムラインを作成、相澤グループの「辞書」づくりに活用。

(3) 今後の取り組み

- 26年度は、調査委託と関係機関との打合せ、内部検討を行い、先行研究調査及び評価枠組みの検討を実施。定量的な分析には制約はあるものの、実施可能な方法を検討した。
- 26年度の検討結果得られた上記手法①～③の手法により、27年度以降の作業を実施する。
- さらに、先行研究調査に接触した有識者による国際アドバイザーボードを設置し、本研究テーマに関するワークショップを開催（11月8～9日予定）、メンバーにより当該分野の最新の状況をまとめた「地球観測データの政策への影響（仮題）」という著書を執筆、出版して成果物のひとつとすることを提案する。議長をお願いする予定のカリフォルニア大学サンタバーバラ校 オラン・ヤング教授には、打診・内諾済み。

相澤グループ

1. 政策と衛星観測を関連づけるための文書セットの構築とデータマイニングによる関連性の分析（政策戦略のための情報処理／相澤）

科学技術論文や新聞記事等から、衛星政策等の関連キーワードを抽出して、テキスト分析に基づく情報の関連性を抽出するための調査を実施した（図 Ai1、図 Ai2）。その結果、キーワードの時系列解析がグループ全体の研究に有効であるとの知見が得られた。これに基づき、文書データを共有するためのデータベース設計に取り組み、データ分析・マイニングのための共通基盤環境を実装した（図 Ai3、図 Ai4）。

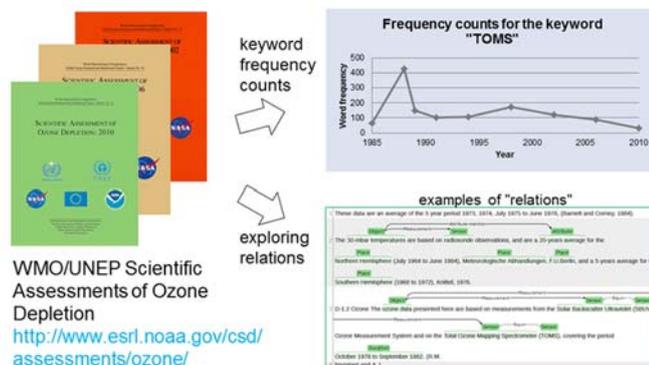


Figure Ai 1 計算機によるデータ分析の可能性に関する予備調査



Figure Ai 2 トピック分析に基づくオゾン層関連新聞記事の分析例

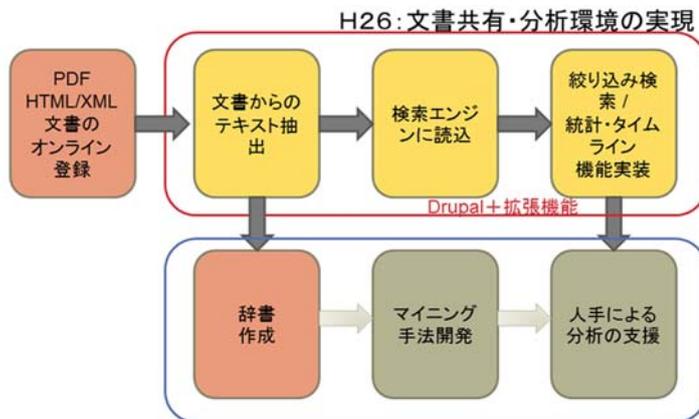


Figure Ai 3 文書分析のための共有基盤の構築



Figure AiB4 共有基盤上でのキーワード分析支援の例

笠井グループ

研究全体のまとめを実施した。また、政策のための衛星観測データのファクトとして、

モントリオール議定書の遵守に関連する中層大気オゾン関連物質、地球温暖化関連物質、大気汚染物質などの衛星観測データにおける科学的観測結果を論文や学会等で公表した。

世界規模における大気環境施策は、オゾン層破壊→大気汚染政策のための宇宙からの「大



気汚染と健康」観測ミッション APOLLO, uvSCOPEを国際宇宙ステーション搭載機器としてJAXA地球圏総合診断委員会に提案し、APOLLOは大型ミッションの次点、uvSCOPEは中型ミッションの推薦ミッションとなった。<http://apollo.nict.go.jp> uvSCOPEミッションの概要を示す。

#### 〈uvSCOPEミッション〉

人為起源である大気汚染は発電所・工場・幹線道路・船舶などの小さな場所からの局所的な排出が主となるが、これまでの衛星観測ではこれらを捉え切ることはできなかった。大気汚染施策のためには正確な汚染排出量の実態把握が必要である。uvSCOPE観測では大気汚染対策の「決定版」となりうる、未把握の発生源も含めた個別発生源（ホットスポット）の発生源位置・タイプと量を「特定」するための情報が得られることを実証し、課題となっている削減対策に必要な科学的知見を増進することを目的とする。本ミッションでは代表的な大気汚染物質であるNO<sub>2</sub>をとりあげ、ホットスポットを局所的な高濃度地点として拾い上げその実態を初めて網羅するものである。

これらを実現するため、国際宇宙ステーションにおける搭載性、NO<sub>2</sub>計測用の可視紫外分光計の検討、感度のフィージビリティ検討などを実施した。表K1にセンサの性能などを示す。また、これらのセンサ条件を用いたL2プロダクトのフィージビリティ表K2に示す。

#### 〈最大事後確率推定法を用いた衛星と政策を関連づけるアルゴリズムの検討〉

来年度に向けて、マイニング手法の一つとして、衛星観測のスペクトルから大気中の物理量の推定に用いられているリトリーバルアルゴリズムの検討を行っている。

表K1. 検討を行っている波長範囲の広い分光系とNO<sub>2</sub>特化型(460-490nm)分光系。

	UV-Vis イメージング分光計	460-490nm イメージング分光計
波長範囲	320nm-450nm	460nm-490nm
分光分解能	0.25 nm	0.42 nm または 0.2nm ※
前置光学系	± 35deg	±14 または± 21 deg ※
検出器	CCD	CMOS または左記 CCD
素子数	1252(H) x 576(V) 素子	2048 × 2048 素子 または左記 CCD
素子サイズ	22.5 x 22.5 μm	6.5 μm × 6.5 μm または左記 CCD
観測対象	標準プロダクト: NO <sub>2</sub> , O <sub>4</sub> (エアロゾル・雲判定情報導出のため)、 研究プロダクト: HCHO(ホルムアルデヒド)、吸収性エアロゾル	標準プロダクト:NO <sub>2</sub> , O <sub>4</sub> (エアロゾル・雲判定情報導出のため)
寸法(mm)	800x450x390	560X350X350
F 値	3.5	3.5
検出器の SNR	約 500 @425-490 nm	
データレート	約 3MBps (優先解析地域を調整)	

表K2 : L2プロダクト

プロダクト	標準プロダクト: NO <sub>2</sub> , O <sub>4</sub> (エアロゾル・雲判定情報導出のため) 研究プロダクト (※): HCHO(ホルムアルデヒド)、吸収性エアロゾル
検出限界・精度要求 (NO <sub>2</sub> カラム濃度) [molecules/cm <sup>2</sup> ]	ターゲット 3.0 x 10 <sup>15</sup> (高カラム濃度時5%) (境界層での混合比 0.6ppb 相当)
(参考) 都市汚染域での対流圏 NO <sub>2</sub> カラム濃度レベル [molecules/cm <sup>2</sup> ]	6.0 x 10 <sup>16</sup> 境界層 4.7 x 10 <sup>16</sup>
IFOV	1km x 1km
高度分解能	対流圏カラム
Swath 幅	200 km minimum

※ 紫外域(320nm-400nm)を観測に含むことが出来た場合のみ。

uvSCOPEの打ち上げは2018年を予定しており、開発や政策への最適化を至急進める必要があると思われる。

### 3 - 4. 会議等の活動

・実施体制内での主なミーティング等の開催状況

年月日	名称	場所	概要
2015年3月6日	第15回 ΦOIC会議	法政大学	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2015年1月19日	第14回 ΦOIC会議	国立情報学研究所	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年12月25日	第13回 ΦOIC会議	法政大学	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年12月2日	第12回 ΦOIC会議	国立情報学研究所	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年10月30日	第11回 ΦOIC会議	法政大学	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年9月16日	第10回 ΦOIC会議	総務省	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年7月28日	第9回 ΦOIC会議	国立情報学研究所	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年6月19日	第8回 ΦOIC会議	国立情報学研究所	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年5月9日	第7回 ΦOIC会議	総務省	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論
2014年4月10日	第6回 ΦOIC 会議	JAXA東京事務所	現状のレビュー成果の紹介・研究(評価)の進め方議論

#### 4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

政策と衛星を含めた地球観測のイノベーションサイクルを回すために真に必要なことを調査するため、有識者によるアドバイザー・ボードの設立および、来年度を目的に国際ワークショップ開催を検討している。国際ワークショップでは、本プロジェクトの成果、発展性を示すとともに、衛星観測と政策との関連性、衛星観測が政策に与える役割を、アドバイザー・ボードのメンバーとともにオープンに議論する予定である。本取り組みは、政策目的に最適化した衛星観測という新しい枠組みへのファーストステップとなり、その結果が次世代の観測技術の新たな技術革新にフィードバックし、グローバルな要求に貢献するような将来ミッション検討に繋がるものである。

#### 5. 研究開発実施体制

体制は以下の通りである。

プロジェクトチームは1) 宇宙政策 2) 衛星観測 3) 衛星観測の評価検討 4) 全く異なる2つの事象を関連づけるマイニング の4分野で日本を代表する研究者で構成されている。

青木グループ（青木節子）

慶応大学総合政策学部総合政策学科

実施項目：宇宙政策

概要：モントリオール議定書締結までの道筋と改訂における詳細の調査

小野田グループ（小野田勝美）

宇宙航空研究開発機構(JAXA)

実施項目：政策のための衛星観測評価

概要：モントリオール議定書において衛星観測→政策、政策→衛星観測の「Death Valley」をつなげた道筋の明示化

相澤グループ（相澤彰子）

国立情報学研究所(NII)

実施項目：マイニング開発

概要：政策と衛星観測を関連づけるためのビックデータベース作成とトレースマイニング開発

笠井グループ（笠井康子）

情報通信研究機構（NICT）

実施項目：全体のまとめ。ビックデータベース作成、衛星フィージビリティ検討

## 6. 研究開発実施者

研究グループ名：政策における衛星観測の効果分析

	氏名	フリガナ	所属機関等	所属部署等	役職(身分)	担当する研究開発実施項目	研究参加期間			
							開始		終了	
							年	月	年	月
○	小野田 勝美	オノダ マサミ	独立行政法人 宇宙航空研究開発機構	調査国際部国際課	主査	衛星観測効果分析手法検討	25	11	28	9
	Henry Scheyvens	ヘンリ スケープンス	地球環境戦略研究機関(IGES)	自然資源・生態系サービス領域	上席研究員	自然資源・生態系サービス政策に対する効果分析	25	11	28	9
	Brian Johnson	ブライアン ジョンソン	地球環境戦略研究機関(IGES)	自然資源・生態系サービス領域	研究員	衛星観測効果分析手法検討	25	11	28	9
	松下 和夫	マツシタ カズオ	地球環境戦略研究機関(IGES)	グリーン経済領域	シニアフェロー	アドバイザー、環境政策への効果分析	25	11	28	9

研究グループ名：政策（宇宙政策と地球環境政策）

	氏名	フリガナ	所属機関等	所属部署等	役職(身分)	担当する研究開発実施項目	研究参加期間			
							開始		終了	
							年	月	年	月
○	青木 節子	アオキ セツコ	慶應義塾大学 SFC研究所	(総合政策学部)	上席所員(教授)	衛星観測を利用する環境監視制度枠組分析	25	11	28	9
	岡松 暁子	オカマツ アキコ	法政大学	人間環境学部	教授	環境関連条約・文書分析のとりまとめ	25	12	28	9
	佐々木浩子	ササキヒロコ	東海大学	海洋学部			26	1	28	9

研究グループ名：政策のための衛星観測提案

	氏名	フリガナ	所属機関等	所属部署等	役職(身分)	担当する研究開発実施項目	研究参加期間			
							開始		終了	
							年	月	年	月
○	笠井 康子	カサイ ヤスコ	NICT/東工大		主任研/連携教授	統括/衛星観測効果分析手法	25	11	28	9
	龜山 康子	カメヤマ ヤスコ	国立環境研究所	社会環境システム研究センター	室長	アドバイザー	25	11	28	9
	沖 理子	オキ リコ	JAXA地球観測		研究領域リー	JAXA/EORC衛	25	11	28	9
	塩見 慶	シオミ ケイ	JAXA地球観測研究センター		主任研究員	地球温暖化衛星	25	11	28	9
	谷本 浩	タニモト ヒロシ	国立環境研究所		室長	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	金谷有剛	カナヤ ユウゴウ	JAMSTEC		室長	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	入江仁士	イリエ ヒトシ	千葉大学		准教授	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	齋藤 尚子	サイトウ ナオコ	千葉大学		助教	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	林田 佐智子	ハヤシダ サチコ	奈良女子大学		教授	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	菊池 健一	キクチ ケンイチ	NICT		主任研究員	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	26	3
	佐川英夫	サガワ ヒデオ	NICT		研究員	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	野口克行	ノグチカツユキ	奈良女子大学		助教	大気汚染研究、衛星センサ検討	25	11	28	9
	研究員A		NICT			大気汚染研究、衛星センサ検討	26			

研究グループ名：相関研究

	氏名	フリガナ	所属機関等	所属部署等	役職(身分)	担当する研究開発実施項目	研究参加期間			
							開始		終了	
							年	月	年	月
○	相澤彰子	アイザワアキコ	国立情報学研究所	コンテンツ科学研究系	教授	相関の研究	26	1	28	9

## 7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

### 7 - 1. ワークショップ等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2014年 8月29日	「環境政策に対する衛星観測の効果の定量的・客観的評価手法の検討」 フィージビリティ検討報告会	慶應義塾大 学三田キャン パス東館6階 会議室	約20名	環境政策に対する衛星観測の効果の定量的・客観的評価手法の検討というテーマに対して、多角的に研究活動を評価検討するため、ワークショップを開催した。

### 7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

#### (1) 書籍、DVD

岡松暁子「船舶起因汚染に関する国際法と国内法の交錯 -北極海におけるカナダ法を素材として」 『人間環境論集』第15巻第2号、2015年、1-13頁。

#### (2) ウェブサイト構築

・なし

#### (3) 学会（7-4.参照）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

・なし

### 7 - 3. 論文発表

#### (1) 査読付き（ 9 件）

##### ●国内誌（ 0 件）

・なし

##### ●国際誌（ 9 件）

・ Direct estimation of the rate constant of the reaction  $\text{ClO} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{HOCl} + \text{O}_2$  from SMILES atmospheric observations .K. Kuribayashi, H. Sagawa, R. Lehmann, T. O. Sato, and Y. Kasai  
Atmos. Chem. Phys.,

・ Vertical profile of  $\delta^{18}\text{O}$  from middle stratosphere to lower mesosphere derived by retrieval algorithm developed for SMILES spectra T. O. Sato, H. Sagawa, N. Yoshida, and Y. Kasai, 7, 941-958, 2014, DOI:10.5194/amt-7-941-2014

・ Validation of MIPAS IMK/IAA V5R\_O3\_224 ozone profiles A. Laeng, U. Grabowski, T. von Clarmann, G. Stiller, N. Glatthor, M. Hoepfner, S. Kellmann, M. Kiefer, A. Linden, S. Lossow, V. Sofieva, I. Petropavlovskikh, D. Hubert, T. Bathgate, P. Bernath, C.D. Boone, C. Clerbaux, P. Coheur, R. Damadeo, D. Degenstein, S. Frith, L. Froidevaux, J. Gille, K. Hoppel, M. McHugh, Y.

Kasai, J. Lumpe, N. Rapoe, G. Toon, T. Sano, M. Suzuki, J. Tamminen, J. Urban, K. Walker, M. Weber, and J. Zawodny *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 3971-3987, 2014, DOI: 10.5194/amt-7-3971-2014

• Evaluating the diurnal cycle of upper tropospheric ice clouds in climate models using SMILES observations Jonathan H. Jiang, Hui Su, Chengxing Zhai, T. Janice Shen, Tongwen Wu, Jie Zhang, Jason N.S. Cole, Knut von Salzen, Leo J. Donner, Charles Seman, Anthony Del Genio, Larissa S. Nazarenko, Jean-Louis Dufresne, Masahiro Watanabe, Cyril Morcrette, Tsuyoshi Koshiro, Hideaki Kawai, Andrew Gettelman, Luis Millán, William G. Read, Nathaniel J. Livesey, Yasko Kasai, and Masato Shiotani, *J. Atmos. Sci.*, 72, 1022–1044.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-14-0124.1>

• Stratospheric and Mesospheric HO<sub>2</sub> Observations from the Aura Microwave Limb Sounder L. Millan, S. Wang, N. Livesey, D. Kinnison, H. Sagawa, and Y. Kasai, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 2889-2902, 2015

• The use of SMILES data to study ozone loss in the Arctic winter 2009/2010 and comparison with Odin/SMR data using assimilation techniques K. Sagi, D. Murtagh, J. Urban, H. Sagawa, and Y. Kasai, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 12855–12869, 2014, DOI: 10.5194/acp-14-12855-2014 (2014)

• Past changes in the vertical distribution of ozone – Part 1: Measurement techniques, uncertainties and availability Hassler, I. Petropavlovskikh, J. Staehelin, T. August, P.K. Bhartia, C. Clerbaux, D. Degenstein, M. De Mazière, B.M. Dinelli, A. Dudhia, G. Dufour, S.M. Frith, L. Froidevaux, S. Godin-Beekmann, J. Granville, N.R.P. Harris, K. Hoppel, D. Hubert, Y. Kasai, M.J. Kurylo, E. Kyrölä, J.-C. Lambert, P.F. Levelt, C.T. McElroy, R.D. McPeters, R. Munro, H. Nakajima, A. Parrish, P. Raspollini, E.E. Remsberg, K.H. Rosenlof, A. Rozanov, T. Sano, Y. Sasano, M. Shiotani, H.G.J. Smit, G. Stiller, R.S. Stolarski, J. Tamminen, D.W. Tarasick, J. Urban, R.J. van der A, J.P. Veefkind, C. Vigouroux, T. von Clarmann, C. von Savigny, K.A. Walker, M. Weber, J. Wild, and J. Zawodny • *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 1395-1427, 2014, DOI: 10.5194/amt-7-1395-2014 (2014)

• "Overview and sample applications of SMILES and Odin-SMR retrievals of upper tropospheric humidity and cloud ice mass P. Eriksson, B. Rydberg, H. Sagawa, M.S. Johnston, and Y. Kasai, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 12613–12629, 2014, DOI: 10.5194/acp-14-12613-2014 (2014)

• The diurnal variation in stratospheric ozone from the MACC reanalysis, the ERA-Interim reanalysis, WACCM and Earth observation data: characteristics and intercomparison A. Schanz, K. Hocke, N. Kämpfer, S. Chabrilat, A. Inness, M. Palm, J. Notholt, I. Boyd, A. Parrish, and Y. Kasai, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 32667-32708, 2014, DOI: 10.5194/acpd-14-32667-2014 (2014)

(2) 査読なし ( 0 件)

#### 7 - 4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 1 件)

・ 2014年8月2-10日 40th COSPAR Scientific Assembly、 (Diurnal variation of BrO, HO<sub>2</sub>, HOCl, ClO, and O<sub>3</sub> in the range from stratosphere to lower ionosphere observed by SMILES) , Kasai, Yasuko; Sagawa, Hideo; Kuribayashi, Kouta

(2) 口頭発表 (国内会議 0 件、国際会議 6 件)

- ・ 2014年10月1日 第65回 国際宇宙会議 (IAC) トロント 青木、小野田
- ・ 2014年11月 第57回 日本リモートセンシング学会学術講演会 京都、B. Johnson
- ・ 2014年10月1日 第65回国際宇宙会議・国際宇宙法学会 (IAC/IISL)、トロント、青木
  
- ・ 2014年9月26日 第24回国連・国際宇宙航行連盟 (UN/IAF) ワークショップ トロント
- ・ 2014年8月2-10日 40th COSPAR Scientific Assembly、 (Global distributions of Cly in mesosphere and lower thermosphere observed by SMILES) Kuribayashi, Kouta; Kasai, Yasuko
- ・ 2014年8月2-10日 40th COSPAR Scientific Assembly、 (Vertical profile of delta 18000 from middle stratosphere to lower mesosphere derived by retrieval algorithm developed for SMILES spectra) Kasai, Yasuko; Sato, Tomohiro; Sagawa, Hideo

(3) ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)  
なし

#### 7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿 ( 0 件)  
なし

(2) 受賞 ( 0 件)  
なし

(3) その他 ( 0 件)  
なし

#### 7 - 6. 特許出願

なし